Die Radio-Röhre

AUFBAU
WIRKUNGSWEISE
ANWENDUNG

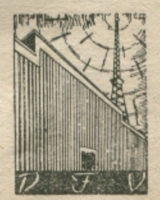
mA

0

DEUTSCHER FUNK-VERLAG · G·M·B·H·



AUFBAU, WIRKUNGSWEISE
UND ANWENDUNG
VON
B. THIEME



DEUTSCHER FUNK-VERLAG G-M-B-H

INHALTSVERZEICHNIS

Kenn-Nr. 10 173 Ausgabe B Preis: 1,— RM

Druck: Landesdruckerei Sachsen G m b H, Dresden A 1
Verlag und Vertrieb: (Nr. 52) Deutscher Funk-Verlag G m b H, Berlin SO 36, Kiefholzstraße 1—3 Telephon: 67 43 58 / Postscheckkonto: Berlin 1975 49
Anzeigenannahme: DFV, Anzeigenabteilung, Berlin W 35, Schönberger Ufer 59 (vormals Kösterufer), Telephon: 32 12 92 / Postscheckkonto: Berlin 1122 42

Auf welchen Vorgängen beruht die Wirksamkeit einer Radio-Röhre? Elektrischer Strom sehr hoher Spannung (mehrere tausend Volt) vermag in freier Luft in Form von Funken überzugehen (Blitz!). Es bedarf dazu der Unterbrechung der diese Spannung führenden elektrischen Leitung an einer Stelle.

Sind die Entfernungen der beiden Leitungsenden (auch Elektroden genannt) zu groß, so kann die Elektrizität dort nicht mehr in Form eines Funkens übergehen. Die Luft als solche ist also nichtleitend für den elektrischen Strom, und zum Übergang in Form von Funkendurchschlag bedarf es jeweils einer ganz bestimmten Spannung an den Elektroden. Das ändert sich auch nicht, wenn der Luftraum um die Elektroden z. B. von einer Glashülle umgeben ist.

Solche Glasröhren mit zwei eingesetzten Elektroden sind als „Entladungs-Röhren" bekannt.

Die Zweipol-Röhre

Die Luft in einer solchen Röhre ist also unter normalen Verhältnissen ein Nichtleiter, und die Elektrizität kann nur bei genügend hoher Spannung in Form von Funken übergehen (Durchschlagsspannung! Festigkeit der Luft gegen hohe Spannungen!). Diese Tatsache ändert sich jedoch, wenn die Luft in der Entladungs-Röhre allmählich ausgepumpt wird. Bereits wenn der Luftdruck (statt normal etwa 760 mm) auf etwa 40 mm heruntergeht, sehen wir, wie die Festigkeit der Luft nachläßt und einzelne zarte Funken überzugehen beginnen, während dies bisher nicht der Fall war. Pumpen wir die Röhre weiter aus, so werden die Funken heller und breiter, bis schließlich bei nur etwa 2 — 1 mm Druck die Entladung in Form einer geschichteten rötlichen Leuchterscheinung vor sich geht. (Geißlersche Röhren! Neonlicht!)

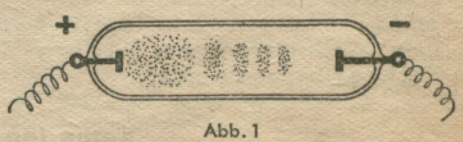


Abb. 1
Elektrische Entladung bei etwa 2 mm Druck

Wird die Röhre nun noch weiter luftleer gemacht, so tritt die merkwürdige Erscheinung auf, daß das

Leuchten wieder zurückgeht; die Leuchtsäule zieht sich gewissermaßen auf den Pluspol (auch Anode genannt) zurück. Dafür geht von dem negativen Pol (Kathode genannt) eine schwachbläuliche Lichterscheinung aus (negatives Glimmlicht). Pumpen wir noch weiter aus, auf einige hundertstel Millimeter Druck (Vakuum), so verschwindet das rötliche Licht am Pluspol ganz, und das eigentümliche bläuliche Leuchten am Minuspol (der Kathode) beherrscht allein das Feld. Auch leuchtet die Glaswand an den der Kathode gegenüberliegenden Stellen je nach der Glassorte grünlich oder bläulich. Ganz offenbar gehen also von der Kathode Elektrizitätsteilchen (Minusteilchen) aus, welche die gegenüberliegende Glaswand zum Leuchten bringen. Man nennt diese von der Kathode kommenden, negativ geladenen Elektrizitätsteilchen Elektronen.

Wird mit besonderen Pumpen die Glasröhre noch weiter ausgepumpt, und zwar auf weniger als einmilliardstel Millimeter Druck (Hochvakuum!), so hat auch das letzte Leuchten am Minuspol, der Kathode, aufgehört. Ein zwischengeschalteter empfindlicher Strommesser zeigt keinerlei Stromdurchgang mehr an. Die Röhre verhält sich wieder, wie sich vorher die normale Luft verhielt: sie ist zum vollkommenen Nichtleiter geworden.

Hier hat man nun eine merkwürdige Entdeckung gemacht: Wird eine der Elektroden in einer solchen Hochvakuum-Röhre erhitzt, so vermag erneut Strom durch die Röhre zu fließen! Der Strommesser zeigt wieder Strom an, allerdings nur in einer Richtung. Es stellt sich heraus, daß nach unserer Vorstellung der Strom von der kalten zur heißen Elektrode fließt, also von der + Anode zur — Kathode.

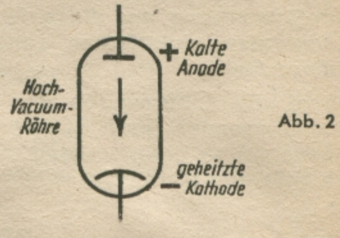


Abb. 2

Die Röhre als Ventil-Röhre

Gleichrichter-Röhre

Diese Röhre läßt somit ganz offenbar den Strom nur in einer Richtung hindurch. Sie ist zum einseitigen Ventil geworden und kann als solches für einen Strom von wechselnder Richtung (Wechselstrom) als Gleichrichter benutzt werden.

Tatsächlich erfolgt auch die Benutzung solcher Zweielektroden-Röhren mit einer geheizten Elektrode als Gleichrichter-Röhre in der Radiotechnik, um Wechselstrom gleichzurichten, also um aus Wechselstrom Gleichstrom zu erzeugen.

Kathoden-Heizung

Die Beheizung der Kathode geschieht dabei elektrisch, d. h. die Kathode wird gleichzeitig als elektrischer Heizdraht ausgeführt (direkte Heizung). Die Herbeiführung der Leitfähigkeit der ausgepumpten Röhre kann so vorgestellt werden, daß, je heißer die Kathoden-Oberfläche ist, um so mehr Elektrizität in Form negativer Elektronen dort austritt und

den Innenraum der Röhre auf diese Weise leitend macht. (Die aus der Kathode austretenden Elektronen umgeben diese wie eine Wolke, deren größte Dichtigkeit sehr nahe an der Kathode liegt. Zugleich laden die Elektronen den Raum um die Kathode auf. Man spricht daher auch von einer Elektronen- oder Raumladungswolke.)
Um einen möglichst zahlreichen Austritt von Elektronen aus dem heißen Glühdraht zu erreichen, wurde anfangs ein solcher aus hochschmelzendem Material, z. B. Wolfram, genommen. Dadurch, daß die geheizte Kathode zusätzlich mit einer bestimmten Oxydschicht, z. B. Bariumoxyd, bestrichen wird, konnte eine weitere starke Steigerung des Elektronenaustritts und damit der Leitfähigkeit erreicht werden. Es genügt sogar, eine mit Bariumoxyd versehene Kathode nur relativ schwach (also auf dunkle Rotglut) und aus nächster Nähe mittels eines Heizdrahtes elektrisch zu beheizen (indirekte Heizung), um die gleiche bzw. sogar eine mehrfach stärkere Wirkung zu erzielen.

Anodenstrom

Der Vorteil solcher Röhren mit künstlich beheizter Kathode liegt neben der auf diese Weise erzielbaren Gleichrichtung von Wechselströmen, vor allem darin, daß nicht mehr viele tausend Volt notwendig sind, um den Luftraum in der evakuierten Röhre zu überbrücken, sondern daß bereits Spannungen weit unter 100 Volt dazu ausreichen. Die Stromstärke (in tausendstel Ampere, also Milliampere, mA) in der Röhre ist dabei außer von dem Heizzustand der Kahode vor allem auch von der zwischen Anode und Kathode anliegenden Spannung abhängig. In welcher Weise zeigt die nebenstehende Abbildung.

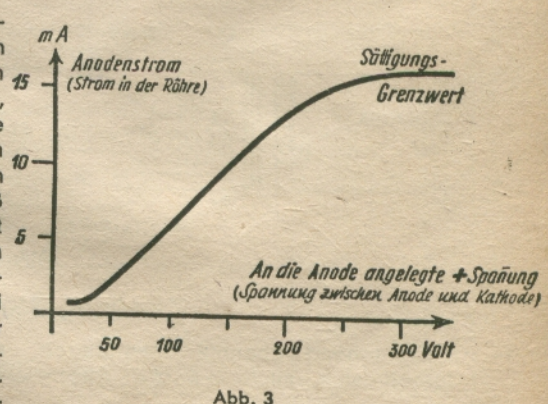


Abb. 3

Stromverlauf in mA in einer Röhre in Abhängigkeit von der angelegten Spannung

Sättigungsstrom

Die Stromstärke in der Röhre nimmt nun mit steigender Spannung nicht ständig weiter zu, sondern erreicht schließlich einen oberen Grenzwert, über den hinaus sie nicht mehr ansteigt (horizontaler Verlauf), selbst wenn noch so hohe Spannungen angelegt werden (Sättigungsgrenze, Sättigungsstrom).
(Bei den modernen Röhren wird meist bereits lange vor Erreichen der Sättigungsgrenze infolge der sehr großen Elektronenaussendung [Emission] die Anode durch den starken Strom überlastet [zu warm], so daß der Emissionsbegriff für die Röhren hinfällig geworden ist.)
Die Stromkurve verläuft bereits vorher gekrümmt. Es hat also wenig Wert, mit diesem gekrümmten oder

Weg des Anodenstroms wird die dem Spannungsabfall an dieser Stelle entsprechende Spannung annehmen, sich also positiv gegen die Kathode aufladen. Der Anodenstrom selbst bleibt dadurch im wesentlichen unbeeinflußt.

Positive Spannung an der dritten Elektrode

Es zeigte sich aber auch, daß eine höhere p o s i t i v e Hilfsspannung, die dieser dritten Elektrode angelegt wurde, die Wirkung der Anode v e r s t ä r k t e, d. h. der Anodenstrom wurde erhöht. Das ist verständlich, denn diese dritte Elektrode verhält sich in diesem Falle lediglich wie eine näher an die Kathode herangebrachte Anode positiver Spannung. Es fließt dann allerdings auch über diese Elektrode ein Strom (Gitterstrom).

Dritte Elektrode in einer Röhre

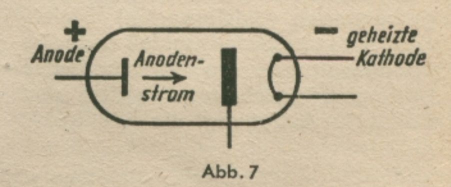


Abb. 7

Negative Spannung an der dritten Elektrode

Wenn nun eine angelegte p o s i t i v e Spannung der dritten Elektrode den Anodenstrom v e r s t ä r k t, k e i n e Spannung an dieser Elektrode ihn u n b e e i n f l u ß t läßt, so ist zu erwarten, daß eine n e g a t i v e Spannung an dieser Elektrode umgekehrt den Anodenstrom s c h w ä c h e n muß.

Tatsächlich trifft das auch zu: Negative Spannung an der dritten Elektrode schwächt den Anodenstrom.

Genügend hohe negative Spannung kann sogar so weit in der schwächenden Wirkung gehen, daß überhaupt kein Strom in der Röhre mehr zustande kommt.

Diese Wirkung einer negativ aufgeladenen dritten Elektrode wird auch verständlich, wenn wir uns erinnern, daß gleiche Elektrizitätsteilchen sich abstoßen. Wir haben eingangs gesehen, daß der Strom in der Röhre dadurch zustande kommt, daß (negative) Elektronen aus der (heißen) Kathode in den Röhrenraum austreten. Sie wollen zur entgegengesetzt, d. h. positiv geladenen Anode hin, und bilden durch dieses Hinströmen zur Anode den Anodenstrom.

Ist nun eine im Wege befindliche dritte Elektrode ebenfalls negativ geladen, so müssen die negativen Teilchen dieser Elektrode die soeben aus der Kathode ausgetretenen gleichfalls negativen Teilchen (Elektronen) zur Kathode zurückstoßen. Die Elektronen können bei genügend hoher negativer Spannung (d. h. Druck!) der dritten Elektrode gar nicht erst von der Kathode fort, also

---

[1]) Die Auffassung, daß der Strom dadurch zustande kommt, daß negative Elektrizitätsteilchen (Elektronen) aus der Kathode austreten und zur Anode hinwandern, hat dazu geführt, sich den Bewegungsvorgang der Elektrizität jetzt gerade umgekehrt vorzustellen, als es bisher üblich war. Plus (+) bezeichnete bisher die Stelle, an welcher man sich den Strom (also die Elektrizitätsteilchen) austretend dachte, während Minus (—) besagen sollte, daß der Strom dort hineinging.
Jetzt ist es gerade umgekehrt: Bei Minus (Kathode) treten die Elektrizitätsteilchen (negative Elektronen) aus und bilden dadurch den elektrischen Strom. Von positiven Elektrizitätsteilchen hört man so gut wie nichts mehr.
Es ist nur bedauerlich, daß einstmals bei der

nicht zu Anode fließen. Der Anodenstrom kommt somit nicht zustande.[1]) (Wohl aber kann ein Strom von dieser dritten (negativ geladenen) Elektrode zur (positiv geladenen) Anode hin zustande kommen.)

Man sieht, daß die Verhältnisse in der Röhre selbst beim Vorhandensein einer dritten Elektrode klar und einfach liegen und ohne Schwierigkeiten übersehen und erklärt werden können.

Einfluß der Spannung an der dritten Elektrode auf den Anodenstrom

Das Merkwürdige — und zugleich Günstige — bei der betrachteten Einflußnahme der an der dritten Elektrode angelegten positiven und negativen Spannungen auf den Anodenstrom ist nun die Erscheinung, daß

1. die Wirkungen auch kleiner Spannungen außerordentlich groß sind,
2. es überhaupt gelingt, auf diese Weise lediglich mit Spannung (also Druck) einen fließenden elektrischen Strom zu steuern (ähnlich einem Wasserhahn),
3. der Erfolg augenblicklich, d. h. trägheitslos, eintritt.

Die Dreipol-Röhre (Triode) bildet also ein *trägheitsloses Relais höchster Empfindlichkeit.* Diese Eigenschaft begründet die überragende Bedeutung, die sich die Elektronen-Röhre in der gesamten Technik erworben hat.

Durchgriff

Wenn oben gesagt wurde, daß die dritte Elektrode als solche (also ungeladen) praktisch keinen Einfluß auf den Anodenstrom hat, so ist das nur bedingt richtig; dann nämlich, wenn diese Elektrode den Stromweg nicht einengt.

Ohne weiteres läßt sich erkennen, daß das Gegenteil, nämlich eine Elektrode, welche den Röhrenraum zwischen Anode und Kathode völlig absperrt, damit auch den Stromdurchgang zwischen Anode und Kathode völlig unterbinden muß.

Die Anode kann in diesem Falle nicht auf die Kathode wirken, weil der Weg versperrt ist (sie kann alsdann die negativen Elektronen nicht ansaugen), oder, wie man auch sagt, die Anode kann nicht zur Kathode *durchgreifen.*

Umgekehrt kann sie zur Kathode voll durchgreifen, wenn die dritte Elektrode, wie eingangs erwähnt, den Raum nicht einengt, also ihn nicht absperrt.

Schließlich wird eine dritte Elektrode mittlerer Größe auch in ihrer Wirkung auf den Anoden*durchgriff* zur Kathode in der Mitte liegen.

Es ergibt sich also:

a) Keine (oder kleine, nicht einengende) dritte Elektrode:

Festlegung der elektrischen Begriffe durch Zufall gerade der „Überdruck" der unrichtigen Seite zugesprochen wurde, während wir uns heute den Überdruck mit den, nunmehr als negativ bereits festgelegten Elektronen verbunden denken müssen.
Logischerweise müßten wir dementsprechend eigentlich + und —Zeichen überall vertauschen; da das einstweilen zu schwierig ist und Weiterungen bei fertigen Anlagen ergeben würde, hat man bislang davon abgesehen. Auch in diesen Darlegungen ist daher *die bisherige Bezeichnung* der Stromrichtung (also entgegen der Strömung der negativen Elektronen) *beibehalten.* Irgendwelche Schwierigkeiten entstehen dadurch nicht; lediglich beim Austritt der Elektronen aus der geheizten Kathode (Raumladungswolke!) ist es gut, die neue Vorstellung zum vollen Verständnis anzunehmen.

volle Durchgriffsmöglichkeit (Durchgriff 100 %)

b) Voll abschließende dritte Elektrode:

keine Durchgriffsmöglichkeit (Durchgriff 0 %)

c) Teilweise einengende bzw. teilweise abschließende dritte Elektrode:

verschiedene Durchgriffsmöglichkeit (Durchgriff je nach Durchlaßweite der dritten Elektrode zwischen 100 % und 0 %).

Die Verhältnisse können etwa mit einem Autorennen auf einer breiten Autobahn verglichen werden: Befindet sich eine hohe Wand quer über der ganzen Bahn, so können die Autos (Elektronen) vom Startplatz (Kathode) nicht starten und daher nicht fahren (strömen) und somit auch nicht zum Ziel (Anode) gelangen. (Hoher Widerstand.)

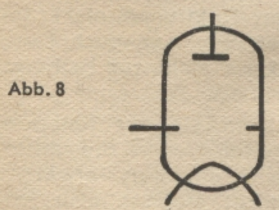
Ist keine Querwand vorhanden, die Bahn also völlig frei, so können Start und Fahrt unbehindert erfolgen, und alle Wagen erreichen das Ziel. (Kein Widerstand.)

Wenn jedoch an einer Stelle teilweise eine Querwand die Fahrbahn einengt, so müssen die Wagen auch entsprechend seitlich ausbiegen, also behindert fahren. (Mittlerer Widerstand.)

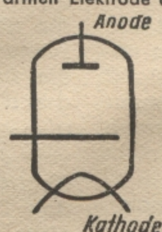
Liegt ein Bedarf nach möglichst viel Strom vor, so wird man ihn möglichst wenig behindern (der Anode wird großer Durchgriff ermöglicht!); soll dagegen die Beeinflussung des Stromes durch die Elektrode möglichst groß werden, so wird man umgekehrt eine stark eingreifende Elektrode (der Anode wird nur ein kleiner Durchgriff ermöglicht!) wählen.

Der Einfluß der dritten Elektrode auf den Durchgriff

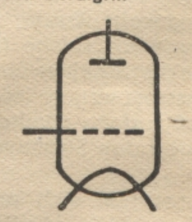
Abb. 8



Hoher Durchgriff von der Anode zur Kathode (D = 100 %)



Geringer Durchgriff von der Anode zur Kathode (D = 0 %)



Mittlerer Durchgriff von der Anode zur Kathode (D zwisch. 100 % u. 0 %)

Gitter-Elektroden und Durchgriff

Um den Durchgriff je nach Bedarf für die einzelnen Röhrenzwecke leicht ändern zu können, wird die dritte Elektrode meistens in Form eines sogenannten G i t t e r s eingebracht. Ein stark durchlässiges Gitter gibt großen Durchgriff, d. h. hohe Stromstärke bei kleinem Röhrenwiderstand, dafür aber geringen Einfluß auf den Anodenstrom. Ein wenig durchlässiges Gitter gibt im Gegensatz dazu kleinen Durchgriff, d. h. geringe Anodenstromstärke bei hohem Röhrenwiderstand, dafür aber hohen Einfluß auf den Anodenstrom.

Das Gitter wird in der Praxis in Form einer mehr oder weniger eng gewickelten Drahtspirale in die Röhre eingebaut. Gitter und Anode werden meistens so ausgeführt, daß sie die

Kathode ringförmig (hülsenartig) umgeben. Auf diese Weise ist günstigste gegenseitige Einflußmöglichkeit gewährleistet.

Der Einfluß des Gitters auf den Anodenstrom

Den Einfluß des Gitters auf den Anodenstrom können wir uns nun ähnlich vorstellen, wie die Wirkung eines seitlich in eine starke Wasserströmung hineingebrachten Schiebers.

Bei voller Öffnung wird der Wasserstrom ruhig weiterfließen und nicht behindert werden. (Geringer Widerstand!)

Wird der Schieber nun allmählich weiter hineingeschoben (der Wasserweg und damit der Durchgriff verkleinert), so wird die Wasserströmung an der verengten Stelle schneller fließen müssen. Zugleich erhöht sich der Widerstand des schmaler gewordenen Strombettes.

Je enger (je kleiner) der Durchgriff, desto größer wird die Zunahme der Schnelligkeit und damit der Einfluß des Schiebers (Gitter) auf die Stromstärke (Verstärkung) sein, desto höher auch der innere Widerstand des verengten Strombettes.

Wir erkennen:

— Röhren mit geringem Durchgriff ergeben hohe Verstärkung, allerdings bei relativ geringer Gesamtleistung,
— Röhren mit großem Durchgriff ergeben geringe Verstärkung, haben jedoch große Gesamtleistung. (Leistungsröhren [Endröhren!].)[2])

Damit haben wir die grundlegenden Eigenschaften dieser Röhren bestimmt.

Verstärker-Röhren

Nachdem wir zuerst die Zweipol-Röhre (Diode) als Gleichrichterröhre kennengelernt haben, sehen wir nunmehr, daß die Dreipol-Röhre (Triode) sich ausgezeichnet für Verstärkungszwecke eignet.
In der Tat ist dies auch das Anwendungsgebiet der Röhre, auf dem sie ihre größten Erfolge errungen hat.
Welche Anodenstromstärken lassen sich nun erzielen, wenn verschiedene Spannungen an das Gitter (3. Elektrode) gelegt werden?

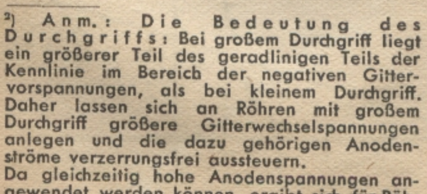
Negativ geladenes Gitter und Anodenstrom

Wir messen zuerst (bei genau festeingestelltem Heizstrom) die Stärke

Stärke des Anodenstroms in Abhängigkeit von der Gitterspannung

Abb. 9

100 Volt Anodenspannung
Anodenstrom in mA
Gittervorspannung in Volt
-10 -8 -6 -4 -2 0
2 4 6 8


[2]) Anm.: Die Bedeutung des Durchgriffs: Bei großem Durchgriff liegt ein größerer Teil des geradlinigen Teils der Kennlinie im Bereich der negativen Gittervorspannungen, als bei kleinem Durchgriff. Daher lassen sich an Röhren mit großem Durchgriff größere Gitterwechselspannungen anlegen und die dazu gehörigen Anodenströme verzerrungsfrei aussteuern.
Da gleichzeitig hohe Anodenspannungen angewendet werden können, ergibt sich für Röhren mit großem Durchgriff (etwa 15 bis 20 %) eine große Gesamtleistung.
Sie eignen sich daher besonders als Endleistungsröhren.

des Anodenstroms, wenn die Spannung am Gitter 0 Volt beträgt. Wir legen hierzu z. B. + 100 Volt an die Anode (gegen die Kathode als — Pol) an.
Dieser Anodenstrom möge z. B. 8 mAmp betragen (Abb.).
Geben wir jetzt dem Gitter eine negative Vorspannung, sagen wir z. B. von — 2 Volt, so muß nach den obigen Ausführungen der Anodenstrom zurückgehen. In obiger Abbildung z. B. auf 6 mAmp.
Bei noch größerer negativer Vorspannung, z. B. — 4 Volt, geht der Anodenstrom auf etwa 4 mA zurück, bei — 6 Volt Gitter-Vorspannung auf 2 mA, usw.

Kennlinie

Die verschiedenen hierbei festgelegten Meßpunkte verbinden wir durch eine Linie.
Die so gewonnene Kurve nennt man die Kennlinie einer Röhre, weil sie den Zusammenhang zwischen Gittervorspannung und Anodenstrom, und damit das der Röhre eigentümliche Verhalten, erkennen läßt.

Steilheit

Die Kennlinie steigt je nach dem Zusammenhang zwischen Gittervorspannung und Anodenstrom, d. h. je nach dem Durchgriff, verschieden steil an.
(Zu beachten ist, daß der bei den jeweiligen Zeichnungen gewählte Maßstab über die Steilheit täuschen kann; maßgebend ist daher stets nur der errechnete Zahlenwert.)

Es ist somit

$$\text{Steilheit} = \frac{\text{Änderung des Anodenstroms}}{\text{Änderung der Gitterspannung}}$$

oder in Worten:

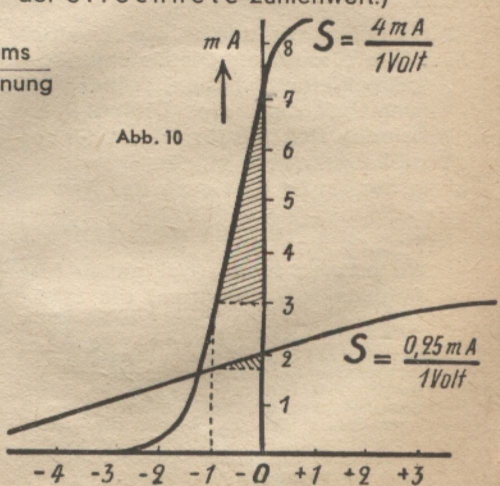
Steilheit ist das Verhältnis der Änderung des Anodenstroms zur Änderung der Gitterspannung (bei konstanter Anodenspannung).

Daß die Heizung während der Messung der Kennlinie genau eingestellt bleiben muß, da sich sonst die Elektronenaussendung ändert und damit der gesamte Anodenstrom, wurde bereits erwähnt.
Wir merken uns den Satz:

Je größer die Steilheit einer Röhre, desto größer ist ihre Verstärkung.

(Die Steilheit S wird z. B. angegeben:

$$S = \frac{4{,}6\ \text{mA}}{2\ \ \text{V}} = 2{,}3\ \text{mA / Volt})$$



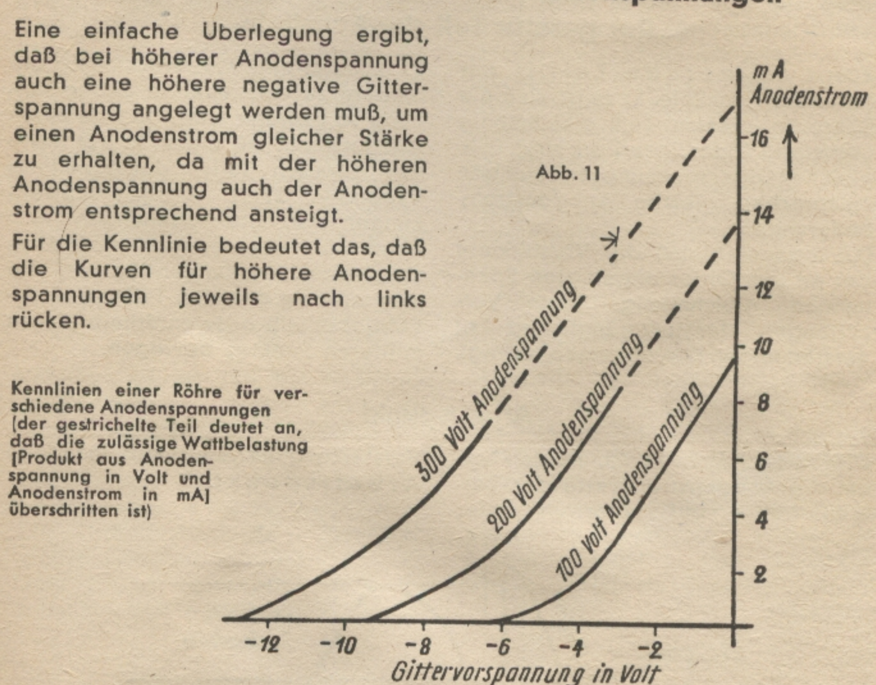
1 Volt Änderung der Gitterspannung gibt bei geringer Steilheit der Röhre nur 0,25 mA Änderung des Anodenstroms; bei steiler Röhre aber 4 mA Änderung!

Der Winkel (die Steilheit), den die Kennlinie mit der Horizontalen bildet, ist somit ein Maß für die Verstärkung, welche die Röhre hergeben kann.

Kennlinie bei verschiedenen Anodenspannungen

Eine einfache Überlegung ergibt, daß bei höherer Anodenspannung auch eine höhere negative Gitterspannung angelegt werden muß, um einen Anodenstrom gleicher Stärke zu erhalten, da mit der höheren Anodenspannung auch der Anodenstrom entsprechend ansteigt.

Für die Kennlinie bedeutet das, daß die Kurven für höhere Anodenspannungen jeweils nach links rücken.



Kennlinien einer Röhre für verschiedene Anodenspannungen (der gestrichelte Teil deutet an, daß die zulässige Wattbelastung [Produkt aus Anodenspannung in Volt und Anodenstrom in mA] überschritten ist)

Es hat sich ergeben, daß die Kennlinien für verschiedene Anodenspannungen im übrigen praktisch parallel zueinander verlaufen.

Außerdem ergibt sich für die Praxis folgendes: Je nach Größe der Röhre, also ihrer Wärmestrahlfähigkeit, hat jede Röhre eine bestimmte Belastbarkeit in Watt. Diese wird für jede Röhrenart vom Hersteller bekanntgegeben. Mehrbelastung kann der Röhre schaden. Zu jeder Anodenspannung läßt sich aus der Kennlinie der Wert des Anodenstromes entnehmen, der die Grenze der Wattbelastung darstellt. Für höhere Spannungen ist er also niedriger. Es kann dabei vorkommen, daß der Grenzwert nicht mehr im geraden Teil der Röhrenkennlinie, sondern bereits im gekrümmten (also unbrauchbaren) Teil liegt. Praktisch bedeutet das, daß die Röhre mit so hohen Anodenspannungen nicht mehr verwendbar ist (ohne Verzerrungen zu geben). Wir kommen darauf beim Begriff des Arbeitspunktes noch zurück.

Die einzelnen Teile der Kennlinie

Wir sprachen bereits vom geraden und gekrümmten Teil der Röhren-Kennlinie. Es lassen sich drei Hauptteile der Kennlinie unterscheiden, die jeder für sich besondere Bedeutung haben.

Der gerade Teil der Kennlinie

Zuerst der gerade Teil in der Mitte der Kennlinie. Er zeigt, daß die Röhre in diesem Teil gleichmäßig und stetig (oder linear) arbeitet, d. h. gleichen Gitterspannungsänderungen entsprechen gleiche Anodenstromänderungen.

Das bedeutet, daß die Verstärkung der an das Gitter angelegten Spannungen gleichmäßig, ohne Verzerrungen der ursprünglichen, zu verstärkenden Kurvenformen, erfolgt.

Es leuchtet ein, daß zweckmäßig die mittlere zu verstärkende Gitterspannung so gewählt wird, daß sie einen Anodenstrom mit einem in der Mitte des geraden Teiles der Kennlinie liegenden Wert ergibt. Schwankungen der Gitterspannungen nach oben oder unten bringen somit Anodenstromschwankungen hervor, die sich auf dem geraden Teil der Kennlinie oberhalb oder unterhalb dieses mittleren Punktes bewegen.

Arbeitspunkt

Diesen wichtigen Punkt, um den herum die Anodenstromwerte der Verstärkerröhre bei verzerrungsfreier Verstärkung liegen, nennt man den Arbeitspunkt.

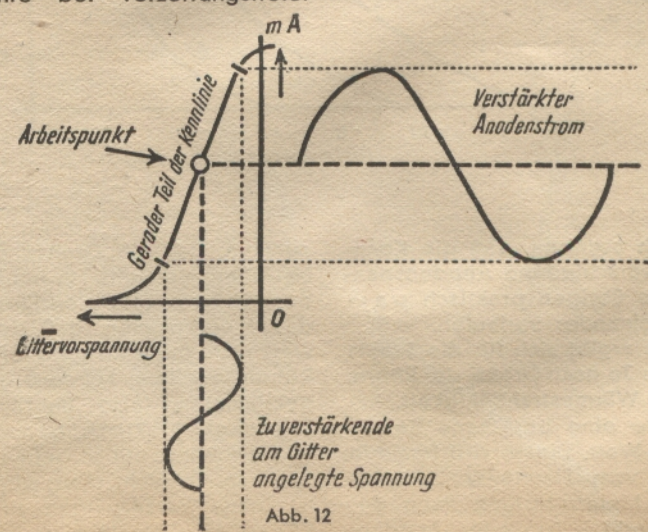


Abb. 12

Die richtige Lage des Arbeitspunktes ist entscheidend für das gesamte einwandfreie Arbeiten einer Röhre.

Der untere gekrümmte Kennlinienteil

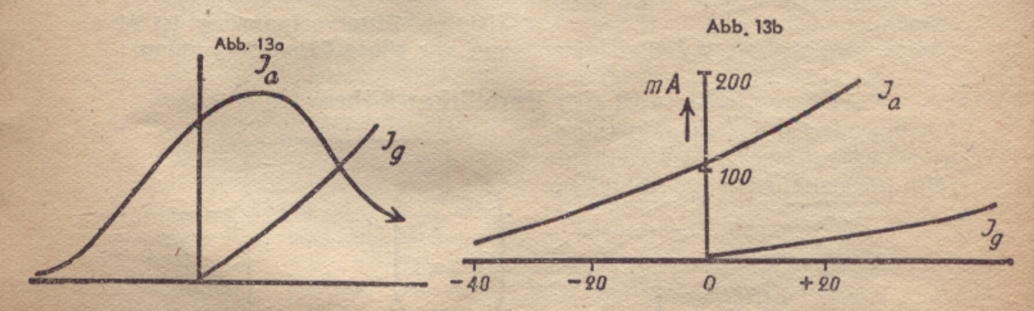
Der zweite untere Teil der Kennlinie ist mehr oder weniger stark gekrümmt. Sobald die am Gitter angelegte Wechselspannung so hoch wird, daß der Anodenstrom bis in diesen Teil der Kennlinie hinein absinkt, erfolgt die Änderung des Anodenstroms nicht mehr gleichmäßig. Der Anodenstrom wird in seiner Kurve gegenüber der ursprünglichen Form der Gitterspannungskurve verzerrt. Verzerrt wird jede Kurve genannt, die nicht mehr der Form des Vorbildes entspricht.

Eine gleiche Verzerrung tritt auch bereits bei geringen Gitterwechselspannungen ein, wenn der Arbeitspunkt nicht in der Mitte der Kennlinie, sondern infolge falscher Gittervorspannung dicht am gekrümmten unteren Teil liegt, weil dann bereits bei geringen Änderungen der Gitterspannung nach negativen Werten hin die Anodenstromwerte in den gekrümmten unteren Kurventeil hinein geraten, Verzerrungen daher die unvermeidliche Folge sind.

Der obere gekrümmte Kennlinienteil

Bei dem dritten Teil der Kennlinie, dem oberen, gekrümmten Teil, liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim unteren gekrümmten Teil, nur daß hier die Gitterspannungen sich zu weniger negativen Werten hin verändern müssen (gewissermaßen positiver werden).

Sehr häufig liegt der obere gekrümmte Teil schon außerhalb des negativen Vorspannungsbereichs, d. h. im Bereich positiver Gittervorspannungen. Das Auftreten positiver Gitterspannungen wird aber möglichst vermieden, weil bei positiver Gitterladung stärkere Gitterströme einzusetzen beginnen, welche zu Leistungsverlusten und sonstigen Störungen führen können.[3])



Abnahme des Anodenstroms (Ja), gleichzeitige Zunahme des Gitterstroms (Jg) bei gesättigter Emission

Anodenstrom (Ja) und Gitterstrom (Jg) einer Röhre RE 604 in Abhängigkeit von den Gitterspannungen

[3]) Gitterstrom setzt im allgemeinen schon bei — 1,4 Volt Gittervorspannung ein. Es wird daher (um Verzerrungen durch den Gitterstrom mit Sicherheit zu vermeiden) nur der Bereich unter — 1,4 Volt Gittervorspannung verwendet.

Die richtige Gittervorspannung und ihre Bedeutung

Wir haben erkannt, daß es von größter Bedeutung ist, auf dem geraden Teil der Röhren-Kennlinie zu arbeiten.

Der Arbeitspunkt, um den die verstärkten Wechselspannungen pendeln, die von den am Gitter angelegten Spannungen herrühren, kann nun nach obigem durch Änderung der Gittervorspannung so gelegt werden, daß er in die Mitte des geraden Teils der Kennlinie kommt.

Die **richtige** Gittervorspannung zu jeder Anodenspannung legt also den Arbeitspunkt in die Mitte des geraden Teils der Kennlinie.

Ist dieses der Fall, so arbeitet die Röhre verzerrungsfrei (vorausgesetzt, daß wir nicht so große Wechselspannungen zum Verstärken auf das Gitter geben, daß die verstärkten Anodenströme mit ihren Endausschlägen über den geraden Teil hinausgehen und in die oberen und unteren gekrümmten Kurventeile gelangen).

Das verzerrungsfreie Arbeiten einer Röhre läßt sich daran erkennen, daß ein in den Anodenstrom eingeschaltetes Milliamperemeter (für Gleichstrom) ruhig steht und kein Zucken nach oben (zu wenig negative Gittervorspannung) oder nach unten (zu viel negative Gittervorspannung) erkennen läßt. Schwankt der Zeiger des Instruments auch nach Anlegung verschiedener Gittervorspannungen, so ist die Röhre entweder übersteuert (d. h. man muß die Anodenspannung erhöhen, um mit der Kennlinie weiter nach links und damit zu einem längeren geraden Teil der Kennlinie zu gelangen),

oder aber die Röhre ist zu schwach (also selbst die Erhöhung der Anodenspannung führt nicht zum gewünschten Erfolg); dann muß eine leistungsfähigere Röhre verwendet werden (falls man nicht den Ausweg wählt, die Gitterwechselspannungen so weit zu verringern, unter Verzicht auf Leistung, daß der Anodenstrom nicht mehr in den krummen Teil der Kennlinie hinein übersteuert wird.

Richtige Gittervorspannung ist also von der allergrößten Bedeutung.

Schaltung der Verstärker-Röhre

Die Prinzipschaltung einer Dreielektroden-Röhre als Verstärker-Röhre zeigt die nebenstehende Abbildung.

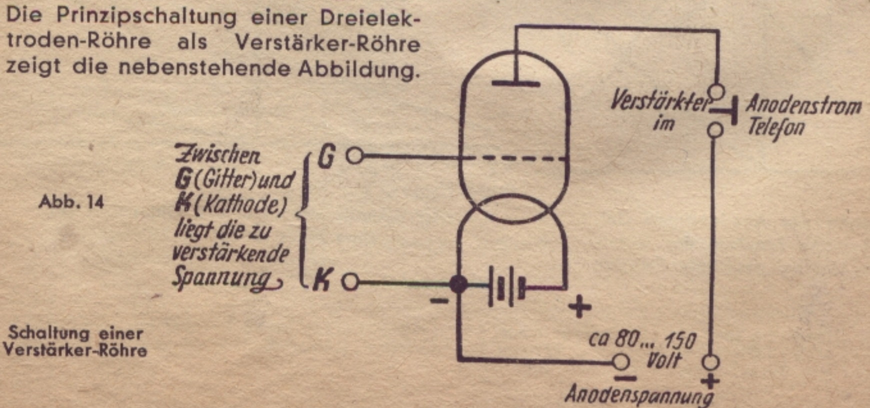


Abb. 14

Schaltung einer Verstärker-Röhre

Die zu verstärkende Spannung wird mit dem einen Pol am Gitter (G), mit dem anderen Pol an der Kathode (K) angelegt.

Damit wird das Arbeiten der Röhre grundsätzlich wie folgt festgelegt:

1. Die zu verstärkende Spannung wird dem Gitter zugeführt.
2. Die verstärkte Spannung wird an der Anode entnommen.
3. Soll weiter verstärkt werden, so wird die verstärkte Spannung der Anode nunmehr dem Gitter der nächsten Röhre zugeführt, woraufhin in der zweiten Röhre wiederum Verstärkung erfolgt. Die so erneut verstärkte Spannung wird dann an der Anode der zweiten Verstärker - Röhre abgenommen, und so fort, bis genügende Verstärkung erreicht ist.

   (Neuere Röhren kommen meistens schon mit zweimaliger Verstärkung aus!)

   Die Röhren und Spannungen müssen so ausgesucht werden, daß die am Gitter angelegte Spannung die Röhre annähernd aussteuert, d. h. die verstärkte Spannung an der Anode der ersten Röhre muß so groß sein, daß sie am Gitter der nächsten (zweiten) Röhre diese wieder nahezu aussteuert.

Die eventuell notwendige Gittervorspannung wird so angelegt, daß die — Seite einer Spannungsbreite, die in die Gitterzuteilung eingeschaltet wird, dem Gitter zugekehrt ist (also gewissermaßen zwischen dem Anschluß G und dem Gitter liegt).

Die üblichen Gittervorspannungen liegen zwischen etwa —1 und —8 oder mehr Volt.

Zum Verständnis der Vorgänge bei der Verstärkung durch Röhren ist hiernach zweierlei zu unterscheiden:

1. * Das Gitter erhält Gleichstrom - Vorspannung (damit liegt der Arbeitspunkt fest!).

   * Dementsprechend fließt in der Röhre ein ganz bestimmter Gleichstrom - Anodenstrom.

2. * Zusätzlich werden alsdann dem Gitter Wechselspannungen zugeführt (die durch die Röhre verstärkt werden sollen).
   [Diese Gitterwechselspannungen pendeln somit in beiden Richtungen um die vorher fest angelegte Gleichstrom-Gittervorspannung!]

   * Entsprechend den am Gitter zusätzlich angelegten Wechselspannungen entstehen nunmehr an der Anode noch (verstärkte) Wechselspannungen, die sich dem bereits fließenden Gleichstrom-Anodenstrom überlagern!

   [Nur diese Wechselspannungen bringen wir im Lautsprecher — als Musik oder Sprache — zu Gehör; Gleichspannung und Gleichstrom dienen in der Röhre nur zur Regulierung und als Träger für die benutzten Wechselspannungen.]

Damit können wir die Röhre nunmehr für alle Zwecke richtig einsetzen.

1.–